

COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA CONVECTIVA H EN EL INTERIOR DE UN DESTILADOR TIPO BATEA

Irene De Paul
INENCO#
Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta
TE: 87-255424
E-mail: depaul@ciunsa.edu.ar

RESUMEN. En las etapas de diseño térmico de un destilador tipo batea es necesario conocer los coeficientes de transferencia térmica convectiva sobre las caras internas de las cubiertas. Normalmente se emplean valores correspondientes a transferencia desde superficies infinitas hacia medios semiinfinitos lo cual no tiene en cuenta las características propias de la circulación en el interior del destilador. En el presente trabajo se presenta una relación empírica que permite conocer el valor del coeficiente h en función de la temperatura del agua de la batea, en el rango $35\text{ }^{\circ}\text{C} - 66\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un error menor al 1%, obtenida a partir de experiencias realizadas en laboratorio sobre un modelo a escala real.

Palabras clave: destilación, transferencia convectiva, coeficiente h .

INTRODUCCION

Uno de los parámetros que es necesario conocer para realizar una correcta simulación computacional del comportamiento de un destilador solar es el coeficiente de transferencia térmica convectiva h sobre las caras internas de las cubiertas. En trabajos anteriores [De Paul *et al.* 1995, 1998, 1998] se mostraron los resultados obtenidos a partir de medidas realizadas con termógrafo de la temperatura externa de las cubiertas de vidrio en un destilador tipo batea ensayado en laboratorio. Debido a que el procedimiento de medida, por captura y procesamiento digital de imágenes, era complejo, sólo se realizaron pocas medidas lo cual resultó insuficiente para tener una estadística confiable y los valores obtenidos sólo tuvieron un carácter indicativo de un parámetro del cual hasta ese momento no se tenían valores medidos. Se reformuló la experiencia realizando una medida continua con termocuplas de las temperaturas de la cara interna y externa del destilador, a partir de lo cual se pudo calcular el valor de h que se tiene en estado estacionario, a diferentes valores de temperatura del agua.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental empleado se muestra en la Figura 1, y consiste en un módulo de destilador, en latón de 1.36 m de largo, 1.16 m de ancho, con cubierta de vidrio flotado a dos aguas, que forma un ángulo $\alpha = 70^{\circ}$ con la vertical (pendiente 20°). Las paredes están aisladas con poliestireno expandido de 0.03 m de espesor. Las paredes anterior y posterior son de vidrio de 0.004 m de espesor; en la anterior se realizó una abertura que permite introducir un sensor para medir la temperatura del agua y realizar observaciones directas del vapor de agua; esta abertura está normalmente tapada con poliestireno. La base del destilador consiste en un recipiente doble: la batea propiamente dicha que contiene el agua para destilar, encerrada en un recipiente que contiene un conjunto de resistencias eléctricas que permiten calentar el agua simulando el calentamiento solar.

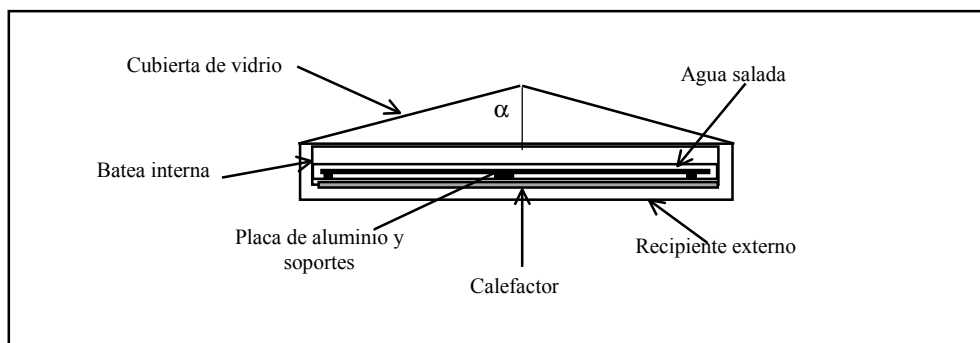


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental ensayado.

Con el fin de asegurar un calentamiento uniforme se colocó dentro de la batea una chapa de aluminio de 0.004 m de espesor sostenida por soportes a una altura constante. La base fue nivelada antes de colocar la cubierta. Se midió la temperatura del agua, del ambiente y de las caras interna y externa de la cubierta de vidrio con termocuplas de cobre-constantán y un sistema de adquisición de datos Omega, que tomaba medidas cada quince minutos.

A diferencia de las experiencias anteriores en las que se calentaba el destilador a potencia constante durante algunas horas del día y se dejaba enfriar durante la noche, en esta oportunidad se calentó a potencia constante durante dos o tres días de manera que el sistema alcance estado estacionario y se pueda disponer de un número de medidas suficientemente alto del coeficiente h en esas condiciones como para que el error estadístico sea razonable. Este procedimiento es necesario porque como el flujo en el interior es turbulento, la dispersión de valores es grande y es necesario realizar un número grande de medidas. La temperatura del laboratorio durante las experiencias varió en menos de 1 °C por lo que puede considerarse que las condiciones externas no cambiaron.

Se varió la potencia eléctrica suministrada a los calefactores entre 220 W y 1050 W con lo que la temperatura del agua varió entre 35°C y 66°C, extendiendo el rango de temperaturas ensayadas en 11 °C respecto de las experiencias anteriores. La Tabla I muestra el resumen de las medidas realizadas y las condiciones de funcionamiento alcanzadas.

Experiencia	Tamb	Potencia	Tagua	Nº de medidas
1	16.8	222	35.3	245
2	16.7	312	40.5	180
3	17.0	370	43.8	169
4	16.5	492	48.6	171
5	13.6	563	50.0	170
6	18.6	512	51.0	176
7	17.4	649	56.5	203
8	13.0	911	61.7	62
9	18.4	809	61.9	115
10	13.4	1051	65.7	85
Total:				1576

Tabla I. Resumen de medidas realizadas.

RESULTADOS OBTENIDOS

La Figura (2) muestra, a modo de ejemplo, los valores medidos de temperatura ambiente, del agua, de vapor y temperaturas medidas sobre la superficie interna y la externa de la cubierta. La temperatura de vapor se calcula como el promedio entre la temperatura del agua y de la cara interior de la cubierta.

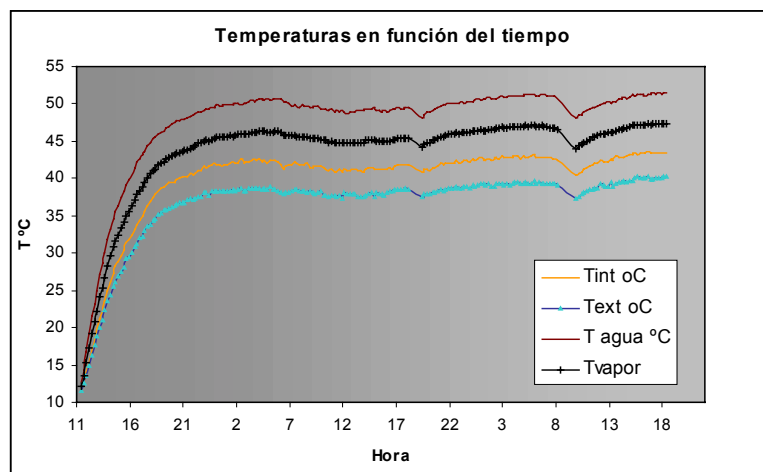


Figura 2. Evolución de las temperaturas en una experiencia tipo.

El coeficiente de transferencia h fue calculado a partir de la expresión (1) empleando los valores de temperatura correspondientes a funcionamiento en estado estacionario, siendo (k/e) el cociente entre la conductividad térmica y el espesor del vidrio de la cubierta.

$$h = \left(\frac{k}{e} \right) \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{T_{\text{vapor}} - T_{\text{int}}} \quad (1)$$

La Figura (3) muestra los valores obtenidos en todo el rango de temperaturas ensayados. Se puede observar la dispersión de valores, más importante a altas temperaturas donde el flujo turbulento es más intenso, según se pudo comprobar en las experiencias de visualización de flujos realizadas [De Paul *et al.* 1995, 1996, 1999].

La Tabla II muestra un resumen de los valores de h obtenidos en función de la temperatura del agua, con el error porcentual correspondiente. La Figura (4) muestra los valores promedio de h obtenidos, el resultado de un ajuste exponencial y las curvas correspondientes a la desviación standard de los valores medidos.

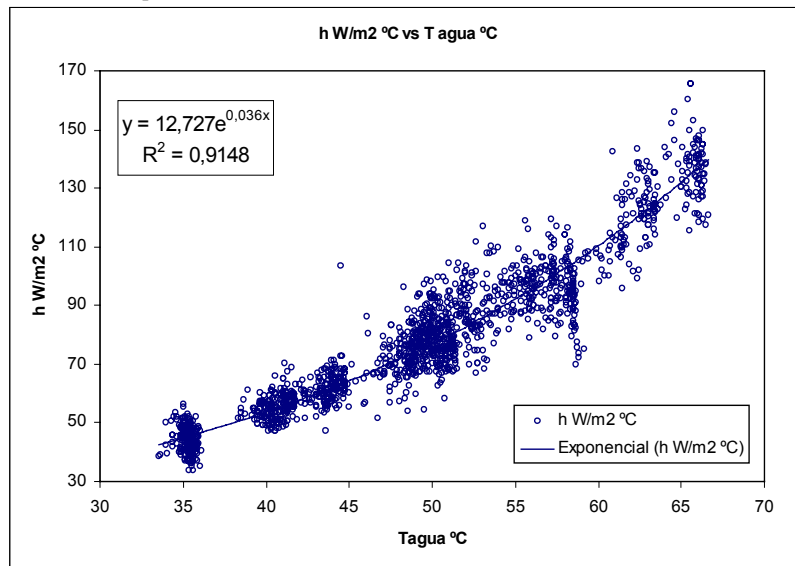


Figura 3. Coeficiente de transferencia h en función de la temperatura del agua, todos los valores.

Experiencia	Tagua °C	h W/m ² °C	Error %
1	35.3	44.5	0.59
2	40.5	55.3	0.56
3	43.8	61.7	0.80
4	48.6	72.4	0.73
5	50.0	78.1	0.58
6	51.0	84.1	0.76
7	56.5	96.8	0.57
8	61.7	115.2	0.94
9	61.9	118.7	0.89
10	65.7	136.8	0.81

Tabla II. Valores medios de h y su error porcentual.

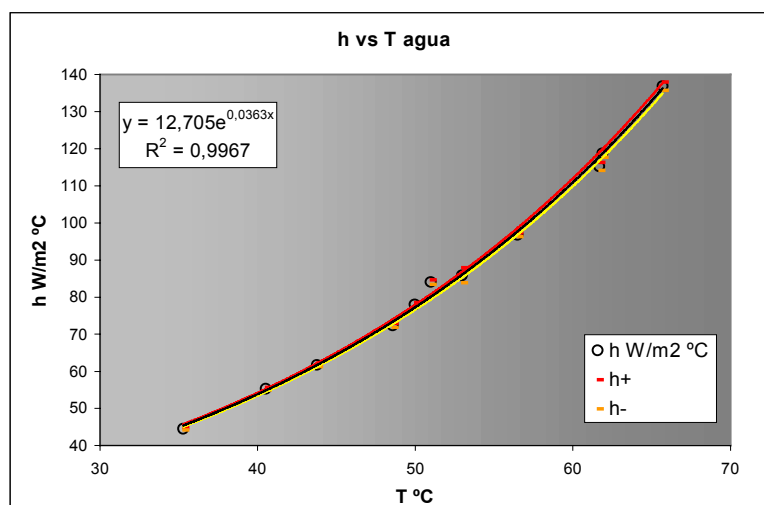


Figura 4. Valores medios del coeficiente de transferencia convectiva h en función de la temperatura del agua.

Un ajuste empírico a los valores medios de h en función de T_{agua} se muestra en la expresión (2), con un coeficiente de determinación R^2 de 0.99.

$$h = 12.705 \exp(0.0369 * T_{\text{agua}}) \quad (2)$$

En trabajos anteriores en los que se ensayó el destilador en el rango de temperaturas 35 °C a 55 °C se proponía una dependencia lineal de h con T_{agua} . En estas experiencias en las que se extendió este rango hasta los 66 °C se muestra que hay una mejor correspondencia con una relación exponencial. A los efectos de comparar las diferencias entre ambos ajustes en el rango 35 °C – 55 °C y estimar el error que resulta de emplear una regresión lineal, se graficaron los valores correspondientes a este rango y se realizaron un ajuste lineal y otro exponencial. El ajuste lineal corresponde a la expresión (3) que se muestra a continuación.

$$h = 2.93 * T_{\text{agua}} - 41.26 \quad (3)$$

Los resultados se presentan en la Figura 5 que muestra un factor de determinación para el ajuste lineal de 0.98 mientras que el correspondiente al ajuste exponencial es de 0.99. El máximo error que se puede cometer empleando la aproximación lineal es del 4.7 %.

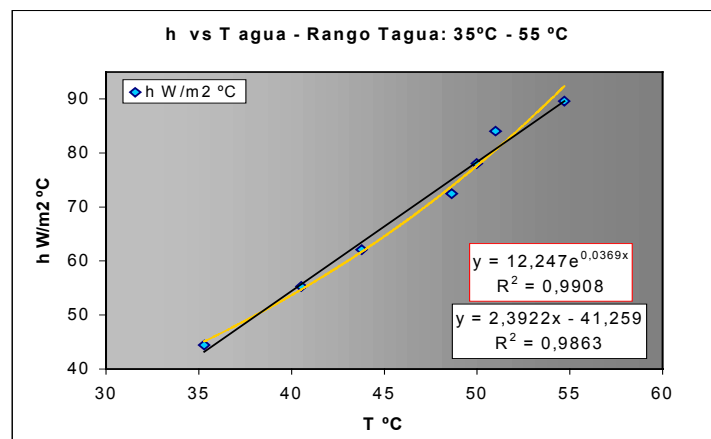


Figura 5. Comparación del ajuste lineal con el exponencial en el rango 35°C – 55°C.

CONCLUSIONES

Generalmente, en etapas de diseño térmico, se emplean coeficientes de transferencia convectivos conocidos desde superficies infinitas, hacia medios abiertos semiinfinitos (Cooper, 1973, Dunkle, 1961). Estos valores no tienen correspondencia con los que ocurren en recintos cerrados, donde las características fluidodinámicas del flujo imponen valores propios para cada geometría y condición de trabajo.

Los resultados de las experiencias realizadas permiten conocer el coeficiente de transferencia convectiva h sobre la cara interna de la cubierta de un destilador tipo batea con una pendiente de 20° en función de la temperatura del agua a partir de la correlación (2), con un error menor al 1%, en el rango 35 °C a 66 °C.

Si se trabaja a menor temperatura, la aproximación lineal (3) permite calcular h en función de la temperatura del agua con un error máximo del 4.7%, válida en el rango 35°C a 55°C.

Con el presente trabajo se espera contribuir al conocimiento de los coeficientes h que se obtienen experimentalmente en el interior de un destilador tipo batea, en función de la temperatura del agua, como herramienta de diseño térmico.

BIBLIOGRAFÍA

- Cooper, P. I. (1973). Digital simulation of experimental solar still data, *Solar Energy*, **14**, 451.
- De Paul, I. y Saravia, L. (1995). Visualización de flujos aplicada al estudio del movimiento convectivo del aire húmedo en un destilador solar. En *Memorias del 4o. Simposio Internacional sobre recientes avances en Mecánica y Física de Fluidos*, Kuz, V., Gratton, R., Ferreri, J. C. (Editores), pp. 129-136, La Plata, R. Argentina.
- De Paul, I., Hoyos, D. y Saravia, L., (1996). Medidas de velocidad del vapor de agua en el interior de un destilador solar tipo batea. En *Actas 19a. Reunión de ASADES, Tomo II*, pp. 07.13, Mar del Plata, R. Argentina.
- De Paul, I., D. Hoyos, L. Saravia., (1997). Productividad de un destilador tipo batea en función de diferentes parámetros. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **1**, 1, pp: 97.

- De Paul, I. D. Hoyos, L. Saravia, (1998). Balance de energía y función de predicción para un destilador solar tipo batea. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **2**, 1, pp :02.57.
- De Paul, I., D. Hoyos, (1998). Analysis of the thermal-fluiddynamic behaviour of a basin solar still. *Actas 7º Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia*. **Vol. IV**, pp :1005-1010.
- De Paul, I., y Hoyos, D., (1999). Comportamiento fluidodinámico de un destilador solar tipo batea con cubiertas a dos aguas. *EnergíasRenovables y Medio Ambiente*, **6**, 27.
- Duffie, J. A., Beckman W. A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Processes*, Cp. 20, J. Wiley and Sons.
- Dunkle, R. V. (1961). Solar water distillation : the roof type still and a multiple effect still. En *Int. Development in Heat Transfer*, **Part 5**, pp. 895, Conference at Denver, USA.
- Sayigh, A. A. M. (1977). *Solar Energy Engineering*, Academic Press.

ABSTRACT

The thermal design of a basin type solar still requires the knowledge of the convective heat transfer on the inner side of covers. Values corresponding to heat transference from infinite surfaces to semiinfinite mediums are generally employed. These values do not take account of the characteristics of the circulation inside the still. An empirical relation that allows the knowledge of the convective heat transfer h as function of the basin water temperature is presented, valid in the range 35°C - 66°C with an error less than 1%, obtained from laboratory tests performed on a real scale still model.